

# KINERJA KELELAHAN CAMPURAN BETON ASPAL LAPIS AUS MENGGUNAKAN MATERIAL HASIL DAUR ULANG DAN POLIMER *STYRENE-BUTADIENE-STYRENE*

**Novita Pradani**  
Fakultas Teknik  
Universitas Tadulako  
Jl. Soekarno Hatta KM. 9 Palu  
[pradaninovita@gmail.com](mailto:pradaninovita@gmail.com)

**Bambang Sugeng Subagio**  
Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesha No.10 Bandung 40132  
[bsugeng@trans.si.itb.ac.id](mailto:bsugeng@trans.si.itb.ac.id)

**Harmein Rahman**  
Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesha No.10 Bandung 40132  
[\\_rahman@trans.si.itb.ac.id](mailto:_rahman@trans.si.itb.ac.id)

## Abstract

Pavement recycling technology, as an alternative technology in road pavement construction and maintenance, is continuously developed. The aim of this study is to modify recycled material by adding a polymer that is able to improve the physical properties and performance of asphalt and recycled mixture. Asphalt mixture used in this study was Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) containing Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), fresh materials, asphalt Pen 60/70, and SBS polymer. The proportion of RAP used was 20% and 30% of the total weight of the mixture. For each RAP variation, asphalt Pen 60/70 was mixed with 0%, 2.5%, and 5% of SBS polymer. Fatigue performance of mixture was, then, measured using 4-Point Bending Test Apparatus. The results show that RAP asphalt has lower penetration and higher viscosity values. Fatigue test shows that the increase in the proportion of RAP will improve the fatigue resistance of the mixture.

**Keyword:** Reclaimed Asphalt Pavement, SBS Polymer, fatigue performance.

## Abstrak

Teknologi daur ulang perkerasan, sebagai suatu teknologi alternatif dalam konstruksi perkerasan dan pemeliharaan jalan, terus dikembangkan. Tujuan penelitian ini adalah melakukan modifikasi bahan daur ulang dengan menambahkan polimer yang mampu meningkatkan sifat fisik aspal dan kinerja campuran daur ulang. Campuran beraspal yang digunakan pada studi ini adalah Beton Aspal-Lapis Aus (AC-WC) yang berisi *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), bahan segar, aspal Pen 60/70, dan polimer SBS. Proporsi RAP yang digunakan adalah 20% dan 30% terhadap berat total campuran. Untuk setiap variasi RAP, aspal Pen 60/70 dicampur dengan SBS polimer dengan kadar 0%, 2,5%, dan 5%. Selanjutnya kinerja kelelahan campuran diukur dengan menggunakan *4-Point Bending Test Apparatus*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa aspal RAP memiliki nilai penetrasi yang lebih rendah dan nilai viskositas yang lebih tinggi. Pengujian kelelahan menunjukkan bahwa naiknya proporsi RAP akan meningkatkan ketahanan lelah campuran.

**Kata-kata Kunci:** *Reclaimed Asphalt Pavement*, Polimer SBS, kinerja kelelahan.

## PENDAHULUAN

Salah satu kendala dalam peningkatan kinerja prasarana jalan adalah keterbatasan material, yaitu agregat dan aspal, di beberapa daerah di Indonesia, yang berdampak pada makin tingginya biaya pembangunan dan rehabilitasi jalan. Berbagai upaya dilakukan untuk mengatasi kendala tersebut. Suatu cara yang pada saat ini sedang dikembangkan adalah pemanfaatan kembali material perkerasan jalan lama (*recycling*) sebagai material perkerasan jalan baru.

Hasil penelitian sebelumnya dan aplikasi penuh di lapangan menunjukkan bahwa penggunaan material daur ulang seringkali menemui beberapa kendala, yang meliputi menurunnya sifat fisik material daur ulang karena selama masa layannya telah menerima beban lalu lintas yang cukup berat. Selain itu material daur ulang juga memiliki variabilitas yang tinggi sehingga berdampak pada perubahan gradasi dan durabilitas campuran. Walaupun demikian teknologi daur ulang memberikan beberapa manfaat, termasuk mengatasi keterbatasan bahan perkerasan jalan (Subagio, 2009) sehingga teknologi ini dapat mengurangi penggunaan agregat dan aspal baru, hemat energi, geometrik jalan dapat dipertahankan, dan melestarikan sumber daya alam.

Karena material daur ulang telah mengalami penurunan sifat fisik selama masa layanan sebelumnya, diperlukan suatu upaya untuk memperbaiki sifat fisik tersebut. Suatu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan membatasi penggunaan material daur ulang dalam campuran perkerasan jalan. Asphalt Institute (1988) membatasi penggunaan material daur ulang hanya 10% sampai 60% saja. Selain membatasi penggunaan material daur ulang, upaya lain untuk memperbaiki kinerja campuran daur ulang adalah dengan penambahan *additive*, seperti polimer, yang diharapkan dapat memperbaiki kinerja kelengketan, titik lembek, dan kelenturan material daur ulang.

Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik kelelahan campuran Beton Aspal (Laston) Lapis Aus (AC-WC) menggunakan material *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) dan aspal modifikasi polimer *Styrene-Butadiene-Styrene* (SBS). Campuran yang digunakan menggunakan 20% dan 30% material RAP terhadap berat total campuran serta aspal Pen 60/70 yang dimodifikasi dengan polimer SBS.

Secara umum perkerasan daur ulang (*recycling*) memanfaatkan kembali material (agregat dan aspal) perkerasan lama untuk dijadikan sebagai perkerasan baru yang ditambahkan material baru atau dan bahan peremaja. Material yang digunakan untuk metode daur ulang adalah bahan kupasan aspal dan bila diperlukan ditambahkan aspal dan agregat baru. Bahan kupasan aspal ini mengandung aspal dan agregat lama. Untuk mencapai hasil yang memadai pada umumnya aspal dan agregat lama perlu diperbaharui baik sifat-sifatnya maupun gradasinya.

Beberapa sifat material RAP yang bisa digunakan sebagai batasan antara lain agregat masih mempunyai daya tahan cukup baik untuk mempertahankan gradasi (jumlah, ukuran, bentuk dan komposisi butiran) dan sifat rheologi aspal (penetrasi atau viskositas) mengalami penurunan, namun hal ini dapat dikembalikan dengan penambahan bahan peremaja (*rejuvenating agent*).

Lapis Beton Aspal adalah lapisan penutup konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai nilai struktural yang pertama kali dikembangkan di Amerika oleh *The Asphalt Institute* dengan nama *Asphalt Concrete* (AC). Menurut Bina Marga Dept.PU, campuran ini terdiri atas agregat bergradasi menerus dengan aspal keras, dicampur, diamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada temperatur tertentu.

Lapis aus (AC-WC) merupakan lapisan teratas yang langsung bersentuhan dengan roda kendaraan. Kekuatan dari perkerasan beton aspal lapis aus (AC-WC) diperoleh melalui struktur agregat yang saling mengunci (*interlocking*). Struktur agregat yang saling mengunci ini menghasilkan geseran internal yang tinggi dan saling melekat bersama oleh lapis tipis aspal perekat diantara butiran agregat. Perkerasan beton aspal ini cukup peka terhadap variasi kadar aspal dan perubahan gradasi agregat, hal ini disebabkan karena beton aspal memiliki sifat stabilitas tinggi dan relatif kaku, yaitu tahan terhadap pelelehan

plastis namun cukup peka terhadap retak. Berdasarkan spesifikasi baru campuran beraspal Kementerian Pekerjaan Umum 2010, Perkerasan Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC) mempunyai ukuran maksimum agregat dalam campuran adalah 19 mm.

Polimer adalah suatu rantai panjang molekul yang sangat besar, terdiri dari atas ratusan ataupun ribuan atom yang terbentuk melalui pengulangan dari satu atau dua bahkan lebih dari bentuk molekul yang kecil menjadi suatu rantai molekul atau struktur jaringan [Hall, C. 1989]. Polimer secara umum dibagi ke dalam dua kategori yaitu plastomer dan elastomer. Pada penelitian ini digunakan tipe polimer elastomer yaitu jenis polimer yang memiliki karakteristik respon elastik tinggi sehingga tahan terhadap deformasi.

Polimer *Styrene-Butadiene-Styrene* (SBS) yang termasuk jenis elastomer *Rubber Sintetic* merupakan polimer yang digunakan dalam penelitian ini. Metode pencampuran SBS dengan aspal Pen 60/70 menggunakan *Wet Method* (metode basah) dimana pencampuran polimer SBS dan aspal dilakukan terlebih dahulu kemudian agregat, yang diharapkan dapat menghasilkan campuran modifikasi aspal dengan polimer SBS yang memiliki homogenitas yang tinggi sehingga dapat memberikan nilai stabilitas yang baik pada campuran. Selain itu, aspal modifikasi polimer SBS ini dapat membentuk lapisan *impermeable* sehingga sesuai untuk lapis aus yang berfungsi melindungi lapisan-lapisan dibawahnya.

Kelelahan merupakan suatu fenomena timbulnya retak akibat beban berulang yang terjadi karena pengulangan tegangan atau regangan yang batasnya masih dibawah batas kekuatan material (Yoder et.al,1975). Pengujian kelelahan dilakukan untuk mendapatkan hubungan antara tegangan dan regangan dengan umur kelelahan. Pengujian kelelahan dapat dilakukan dengan beberapa metode dan menggunakan berbagai bentuk dan ukuran benda uji. Metode umum untuk mengevaluasi karakteristik kelelahan beton aspal adalah pengujian lentur berulang (*repeated flexural test*), (Yoder et.al,1975).

Peralatan yang dipakai dalam penelitian ini adalah mesin uji kelelahan Four Point Bending Apparatus. Alat ini mengakomodasi pengujian kelelahan dengan kontrol regangan (*strain*). Mesin uji ini memiliki sistem pembebanan dengan tenaga hidrolik. Pada prinsipnya sistem pengujian mengakomodasikan kendali multi-axis (*IMACS Integrated Multi-Axis*) yang diintegrasikan dengan perangkat lunak berbasis windows (Rahman, H.,2010).

Penelitian ini dititikberatkan pada pengujian laboratorium terhadap kinerja kelelahan, dimana material yang digunakan dalam penelitian ini adalah material lama (RAP), material baru dan polimer SBS. Dari ketiga material tersebut dilakukan pengujian mengikuti Standar Nasional Indonesia (SNI).

Dalam pengujian campuran terdapat 2 variasi kadar material RAP terhadap berat total campuran, yaitu 20% material RAP dan 30% material RAP. Kemudian pada masing-masing variasi RAP tersebut, dibedakan persentase kandungan polimer SBS yaitu 0%; 2,5% dan 5% terhadap berat aspal total. Pengujian campuran ini dilakukan sesuai dengan standar pengujian campuran beraspal panas. Untuk mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) digunakan perencanaan dengan Metode Marshall dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak. Kadar Aspal Optimum (KAO) diperoleh untuk keenam variasi campuran. Selanjutnya masing-masing KAO tersebut, digunakan dalam pembuatan benda uji untuk pada pengujian kelelahan.

Persiapan benda uji untuk pengujian kelelahan (*fatigue*) terdiri atas agregat kasar, agregat halus dan filler pada KAO yang didapatkan dari analisis Marshall dengan pendekatan kepadatan mutlak, kemudian dilakukan tahap pencampuran, pemadatan dan pemotongan. Benda uji berbentuk balok berukuran lebar nominal 63,5 mm, tinggi 50 mm, dan panjang 380 mm digunakan dalam pengujian ini.

Pengujian kelelahan dilakukan dengan *Four Point Bending Apparatus*, pada temperatur  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , dengan 3(tiga) tingkat regangan ( $500 \mu\epsilon$ ,  $600 \mu\epsilon$  dan  $700 \mu\epsilon$ ) serta pembebanan dengan kontrol regangan (*controlled-strain*). Semua pengujian dilakukan pada frekuensi 8 Hz (8 siklus perdetik) dengan pola pembebanan sinusoidal. Keruntuhan ditentukan berdasarkan jumlah siklus pembebanan yang mengakibatkan penurunan nilai modulus kekakuan lentur sebesar 50% terhadap nilai awal.

## ANALISIS DATA

### Pengujian Material

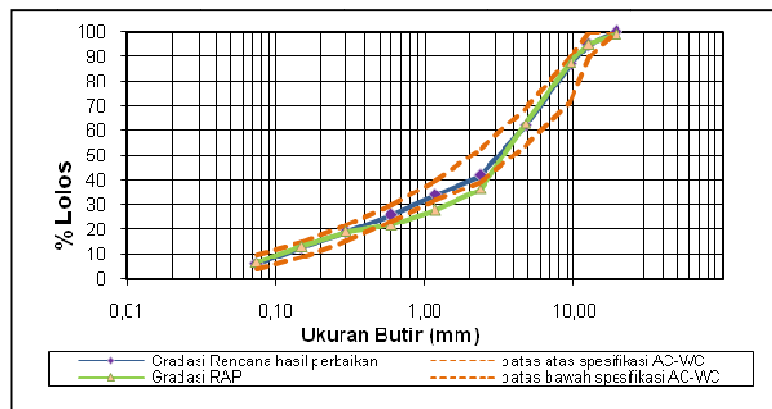
Aspal yang digunakan dalam campuran ini adalah aspal dengan Pen 60, aspal RAP, dan aspal modifikasi polimer SBS. Penentuan kandungan aspal pada material RAP perlu dilakukan terlebih dahulu, kemudian dilakukan pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

**Tabel 1** Kadar Aspal Hasil Ekstraksi dari *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP)

Sampel	Berat (gr)			Kadar Aspal (%)
	Sampel	Agregat	Aspal	
(1)	(2)	(3)	(4) = (2)-(3)	(5)=[(4)/(2)] x100
1.	500	475,6	24,4	4,88
2.	500	474,6	25,4	5,08
Kadar Aspal Rata-rata				4,98

**Tabel 2.** Pengujian Sifat –Sifat Aspal Hasil Ekstraksi dari RAP

No.	Jenis Pemeriksaan	Hasil Uji	Metode Uji
1.	Penetrasi, $25^\circ\text{C}$ , 100 gr, 5 detik; 0,1 mm	21,6	SNI 06-2456-1991
2.	Titik Lembek; $^\circ\text{C}$	57	SNI 06-2434-1991
3.	Berat Jenis	1,043	SNI 06-2441-1991



**Gambar 1** Gradasi Rencana dan Gradasi RAP Campuran AC-WC

Untuk Pengujian selanjutnya dilakukan penambahan aspal lama kedalam aspal baru (Pen 60/70) diuji untuk 6 (enam) campuran dengan perbandingan RAP 20% dan material baru 80%; RAP 30% dan material 70% dimana yang dibedakan adalah persentase polimer SBS. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Agregat yang digunakan meliputi agregat baru dan agregat dari material lama (RAP), dilakukan pengujian untuk menentukan apakah agregat tersebut masih layak untuk digunakan dalam pengujian campuran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa agregat RAP masih layak digunakan. Namun gradasi material RAP tidak memenuhi spesifikasi sehingga perlu dilakukan perbaikan gradasi dengan menambahkan agregat baru, seperti terlihat pada Gambar 1.

**Tabel 3.** Pengujian Pencampuran Aspal Lama dengan Aspal Baru Modifikasi Polimer

Hasil Uji								
No.	Jenis Pemeriksaan	20% RAP (Komposisi A)			30% RAP (Komposisi B)			Metode Pengujian
		0%	2,5%	5%	0%	2,5%	5%	
		SBS (A1)	SBS (A2)	SBS (A3)	SBS (B1)	SBS (B2)	SBS (B3)	
1	Penetrasi,25°C (dmm)	57,2	46,20	41,40	56,6	43,83	40,30	SNI 06-2456-1991
2	Titik Lembek, °C	51	54,3	55,2	52	54,8	56,0	SNI 06-2434-1991
3	Berat Jenis	1,0383	1,042	1,044	1,0396	1,042	1,045	SNI 06-2441-1991

### Pengujian Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan spesifikasi baru campuran beraspal dengan Kepadatan Mutlak, dilakukan perencanaan sesuai dengan gradasi agregat yang dipilih. Kemudian untuk masing-masing campuran tersebut dilakukan pengujian Marshall dengan variasi kadar aspal yang digunakan.

Hasil referensi data Marshall, selanjutnya dilakukan pengujian Kepadatan Mutlak dengan penentuan Kadar Aspal Optimum dilakukan dengan metode *barchart*. KAO merupakan rentang kadar aspal yang memenuhi semua syarat kriteria campuran beraspal, yaitu  $VIM_{Marshall}$ ,  $VIM_{Refusal}$ , VMA, VFB, stabilitas, kelelahan, dan MQ. Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang didapat dari masing-masing campuran digunakan sebagai kadar aspal dalam perencanaan pengujian kelelahan.

Berdasarkan analisis Marshall dengan metode kepadatan mutlak dihasilkan Kadar Aspal Optimum (KAO) yang semakin berkurang dengan pertambahan kadar polimer SBS, untuk kandungan 20% RAP, yaitu sebesar 5,28% (0% SBS), 5,14% (2,5% SBS), dan 5,11% (5% SBS). Sedangkan untuk campuran dengan kandungan 30% RAP masing-masing sebesar 5,34% (0% SBS), 5,20% (2,5% SBS), dan 5,18% (5% SBS). Hal ini menunjukkan bahwa penambahan kadar polimer dapat menggantikan fungsi aspal sebagai unsur pengikat dalam campuran.

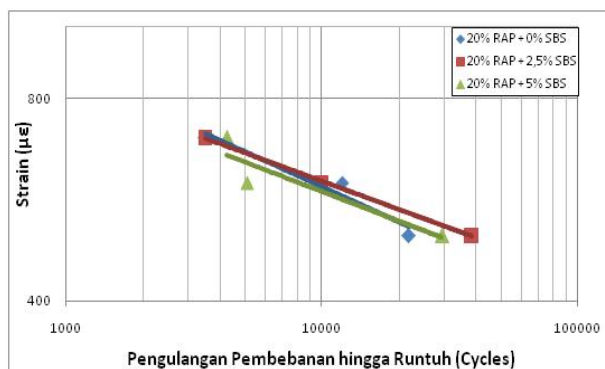
### Pengujian Kelelahan

Penentuan Umur Lelah Campuran Aspal Panas yang Dipadatkan dan Diberikan Tekukan *Flexural* yang Berulang (*Determining the Fatigue Life of Compacted Hot-Mix Asphalt Subjected to Repeated Flexural Bending*). Konsep pengujian kelelahan dengan pembebanan 4 titik ini menggunakan kontrol regangan. Besarnya regangan ditentukan terlebih dahulu, kemudian

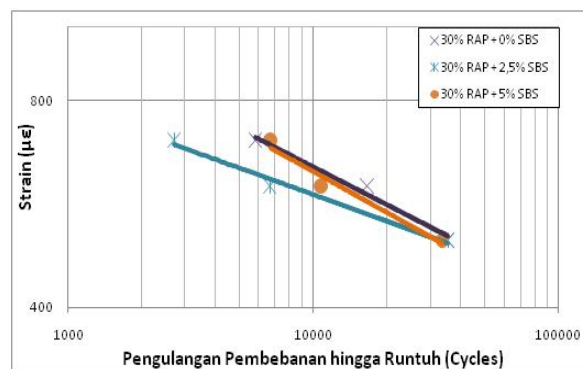
regangan tersebut berusaha dipertahankan dengan menyesuaikan nilai tegangannya. Kondisi ketika nilai modulus kekakuan lentur (*flexural stiffness*) telah berkurang sebesar 50% terhadap nilai awal, dianggap sebagai kondisi *failure*. Pengulangan pembebanan (*cycles*) sampai kondisi *failure* disebut sebagai umur kelelahan.

Pengujian kelelahan dilakukan pada temperatur  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  terhadap balok-balok dengan 6 (enam) variasi campuran yang berbeda pada nilai Kadar Aspal Optimum (KAO). Tiap variasi campuran diuji pada 3 (tiga) tingkat regangan yang berbeda, yaitu  $500 \mu\epsilon$ ,  $600 \mu\epsilon$ , dan  $700 \mu\epsilon$ . Pada pengujian ini, AASHTO (2008) mensyaratkan regangan antara  $(250-750) \mu\epsilon$ . Ketiga tingkatan regangan ini berusaha dipertahankan dengan menyesuaikan nilai tegangan. Makin besar regangan yang berusaha dipertahankan maka makin besar pula tegangan yang terjadi. Campuran yang mengandung 20% RAP (A1, A2, dan A3) menghasilkan tegangan tarik yang lebih kecil dibandingkan campuran dengan 30% RAP (B1, B2, dan B3) sehingga beban yang bekerja pada benda uji dengan 20% RAP lebih kecil daripada campuran dengan 30% RAP.

Pada Gambar 2a dan Gambar 2b terlihat bahwa nilai regangan berbanding terbalik dengan jumlah pembebanan hingga runtuh dan semakin besar regangan yang diberikan jumlah siklus pembebanan akan semakin pendek. Hal ini disebabkan karena besarnya regangan yang diberikan ( $500 \mu\epsilon$ ,  $600 \mu\epsilon$ , dan  $700 \mu\epsilon$ ) menyebabkan semakin besar pula tegangan yang dihasilkan untuk mempertahankan regangan tersebut. Akibatnya beban yang diterima campuran akan semakin besar yang berdampak kepada makin cepatnya campuran tersebut mengalami keruntuhan. Secara umum campuran yang mengandung 30% RAP memiliki ketahanan yang cukup baik dibandingkan campuran dengan 20% RAP. Hal ini terlihat pada jumlah rata-rata pengulangan pembebanan hingga runtuh pada campuran ini yang lebih tinggi dari pada campuran 20% RAP. Hasil ini disebabkan karena nilai modulus kekakuan lentur campuran dengan 30% RAP lebih tinggi dibandingkan dengan nilai modulus kekakuan lentur campuran 20% RAP.



**Gambar 2a** Hubungan antara Jumlah *Cycles* terhadap Regangan pada Campuran dengan 20% RAP



**Gambar 2b** Hubungan antara Jumlah *Cycles* terhadap Regangan pada Campuran dengan 30% RAP

Bila ditinjau optimalisasi penggunaan polimer SBS, terlihat bahwa pada campuran dengan 20% RAP dengan kadar 2,5% polimer SBS memberikan hasil terbaik terkait dengan ketahanan campuran terhadap kelelahan. Sedangkan untuk campuran dengan 30% RAP, polimer SBS belum memberikan kontribusi optimal dalam ketahanan campuran

terhadap kelelahan, dengan jumlah *cycles* terbesar diberikan oleh campuran tanpa polimer SBS.

### Perbandingan Kuat *Fatigue* Hasil Pengujian terhadap Hasil Perhitungan Teoritis

Penentuan kuat *Fatigue* yang dinyatakan dengan jumlah pembebanan hingga runtuh, selain dengan pengujian di laboratorium, dapat pula diperoleh dengan menggunakan persamaan empiris. Salah satu persamaan yang digunakan adalah persamaan yang dikembangkan oleh Asphalt Institute, yaitu:

$$N_f = f_1 (\epsilon_t)^{-f_2} (E)^{-f_3} \quad \dots\dots\dots (1)$$

dengan:

- $N_f$  = Jumlah pengulangan pembebanan hingga runtuh (*cycles*)
- $\epsilon_t$  = Regangan tarik yang terjadi
- $E$  = Modulus elastisitas campuran (psi)
- $f_1, f_2, \text{ dan } f_3$  = konstanta dengan nilai masing-masing 0,0796; 3,291; dan 0,854

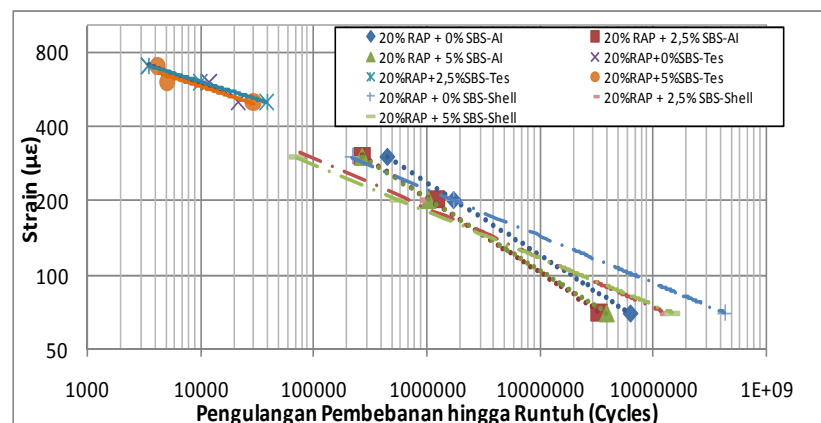
Selain itu terdapat pula persamaan empiris yang dikembangkan oleh Shell untuk menentukan jumlah pengulangan pembebanan hingga runtuh, yaitu persamaan Bonnaure *et.al* (1980) sebagai berikut:

$$N_f = [0,17PI - 0,0085PI(V_b) + 0,0454V_b - 0,112]^5 \cdot \epsilon_t^{-5} \cdot S_m^{-1,8} \quad \dots\dots\dots (2)$$

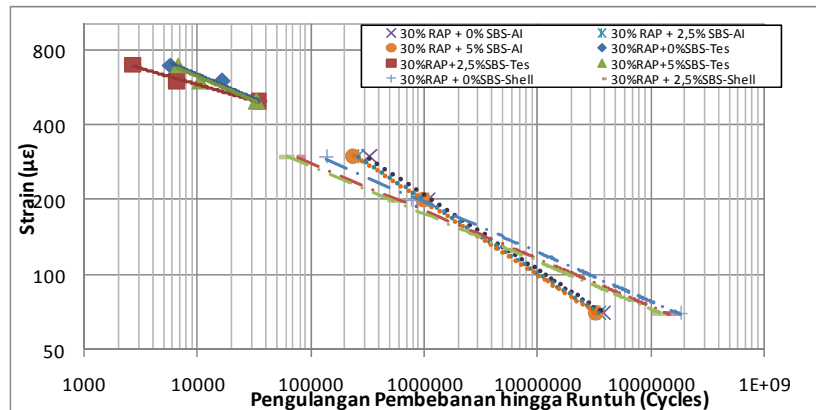
Persamaan tersebut berlaku pada kondisi dengan kontrol regangan, dengan:

- $N_f$  = Jumlah pengulangan pembebanan hingga runtuh (*cycles*)
- $PI$  = *Penetration Index*
- $V_b$  = Volume aspal dalam campuran (%)
- $\epsilon_t$  = Regangan tarik yang terjadi
- $S_m$  = Modulus elastisitas campuran (psi)

Perbandingan antara jumlah *cycles* hasil pengujian *fatigue* dan hasil perhitungan, ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



**Gambar 3.** Perbandingan Jumlah *Cycles* Hasil Pengujian dan Perhitungan untuk Campuran 20% RAP



**Gambar 4.** Perbandingan Jumlah *Cycles* Hasil Pengujian dan Perhitungan untuk Campuran 30% RAP

Pada Gambar 3 dan Gambar 4 terlihat kecenderungan bahwa nilai hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan Asphalt Institute dan Shell memberikan jumlah *cycles* yang lebih besar daripada hasil pengujian baik untuk campuran dengan 20% RAP maupun untuk campuran dengan 30% RAP.

Berdasarkan perbandingan antara hasil pengujian di laboratorium terhadap hasil perhitungan secara analitis dapat ditentukan beberapa fakta yang memungkinkan terjadinya perbedaan antara hasil pengujian dan hasil analitis dalam konsep ketahanan campuran terhadap kelelahan. Kemungkinan tersebut, antara lain, adalah:

1. Perbedaan besarnya regangan (*strain*) yang digunakan dalam pengujian terhadap regangan yang terjadi secara riil di lapangan. Secara realistis, regangan yang terjadi di lapangan lebih kecil daripada regangan yang digunakan dalam penelitian ini (500-700)  $\mu\epsilon$ , sehingga pada input regangan yang digunakan pada persamaan 1 dan persamaan 2 adalah regangan yang merepresentasikan kondisi nyata di lapangan, yaitu sebesar (70-300)  $\mu\epsilon$ . Menurut Monismith dan McLean (dalam Yoder and Witczak, 1975), kerusakan akibat kelelahan tidak akan terjadi pada regangan kurang daripada 70  $\mu\epsilon$ , sehingga batas minimum regangan yang digunakan pada perhitungan teoritis adalah sebesar 70  $\mu\epsilon$ .
2. Pengujian di laboratorium tidak mempertimbangkan *self curing/self recovery* yang dialami campuran. Pembebanan yang dilakukan secara berulang di laboratorium menggunakan *fixed time of loading* sehingga tidak memperhitungkan sifat mampu pulih bahan akibat beban yang diberikan. Di lapangan, waktu pembebanan yang terjadi tidak bersifat *fixed* sehingga kemungkinan mampu pulih perkerasan jalan akibat beban yang diterimanya masih dapat terjadi.
3. Pengujian di laboratorium tidak memperhitungkan *traffic wandering*, yang pada kondisi nyata di lapangan kendaraan berpindah-pindah (pergerakan menerus) sehingga memberikan beban berupa beban terbagi rata. Pada pengujian di laboratorium beban yang diberikan berupa beban terpusat yang berulang (hanya terpusat pada titik tertentu).

Berdasarkan Gambar 3 dan Gambar 4 kedua hasil perhitungan secara analitis (Shell dan Asphalt Institute) juga memberikan hasil yang berbeda antara satu dengan lainnya. Hal ini disebabkan karena perbedaan input parameter pada masing-masing persamaan. Pada persamaan Shell digunakan parameter reologi aspal dalam perumusannya, seperti nilai *Penetration Indeks*



(PI) aspal serta persentase aspal dalam campuran. Sedangkan persamaan Asphalt Institute tidak mempertimbangkan nilai PI dan persentase aspal.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Aspal RAP tidak memenuhi persyaratan spesifikasi aspal keras karena memiliki nilai penetrasi yang sangat rendah (21,6 dmm) serta nilai titik lembek yang tinggi (57°C), sehingga perlu penambahan aspal baru dan polimer sebagai *rejuvenating agent*.
2. Agregat RAP memenuhi spesifikasi sifat fisik agregat sehingga dapat digunakan dalam perencanaan campuran, namun gradasi agregat RAP tidak memenuhi amplop gradasi AC-WC sehingga perlu penambahan agregat baru.
3. Campuran dengan 20% RAP menunjukkan peningkatan kuat *fatigue* rata-rata tertinggi pada 2,5% polimer SBS (17.357 *cycles*) dibandingkan dengan campuran tanpa polimer SBS (12.467 *cycles*) dan selanjutnya menurun pada 5% polimer SBS (12.980 *cycles*).
4. Campuran dengan 30% RAP memberikan kuat *fatigue* rata rata tertinggi pada 0% polimer SBS (19.370 *cycles*), selanjutnya mengalami penurunan pada 2,5% polimer SBS (14.960 *cycles*), dan meningkat lagi pada 5% polimer SBS (17.050 *cycles*). Hal ini berarti bahwa polimer SBS belum memberikan kontribusi yang optimal pada ketahanan campuran terhadap kelelahan, khususnya pada campuran dengan 30% RAP.
5. Perbandingan umur *fatigue* hasil pengujian pada kondisi *controlled strain* terhadap hasil perhitungan teoritis (persamaan Shell dan Asphalt Institute) menunjukkan bahwa kurva hasil pengujian berada pada sebelah kiri atas terhadap kedua kurva teoritis. Hal ini diakibatkan karena tingkat regangan berbeda yang digunakan pada pengujian dan pada perhitungan teoritis, dengan regangan pada pengujian sebesar (500-700)  $\mu\epsilon$  sedangkan pada perhitungan teoritis sebesar (70-300)  $\mu\epsilon$ , sehingga umur *fatigue* pada hasil perhitungan teoritis lebih besar daripada umur *fatigue* hasil pengujian di laboratorium.

Saran-saran yang diusulkan untuk penelitian selanjutnya, antara lain, adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap campuran AC-WC dengan kandungan 30% RAP, dengan kemungkinan penggunaan *rejuvenating* berupa aspal baru dengan nilai penetrasi yang lebih tinggi atau jenis polimer yang berbeda.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan terhadap kemungkinan menggunakan tingkat regangan yang lebih rendah dalam pengujian kelelahan dengan menggunakan *controlled strain*, sesuai dengan tingkat regangan yang terjadi di lapangan serta kemungkinan untuk melakukan pengujian kelelahan dengan menggunakan *controlled stress*.

## DAFTAR PUSTAKA

American Association of State Highway and Transportation Officials. 1998. *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*. Washington, DC.

- Asphalt Institute. 1981. *Asphalt Hot-Mix Recycling*. Manual Series No.20 (MS-20). Lexington, KY.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2010. *Seksi 6.3 Spesifikasi Campuran Beraspal Panas*. Kementerian Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Francken, L. 1998. *Bituminous Binders and Mixes*. Rilem Report 17. E and FN Spon an imprint of Routledge. London.
- Huang, Y.H. 2004. *Pavement Analysis and Design*, 2<sup>nd</sup> Edition. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliff, NJ.
- Lubis, Z., Mochtar, B. 2008. *Evaluasi Rumusan Damage Factor (Equivalent Axle Load) dalam Perancangan Sistem Perkerasan Lentur Jalan Raya Akibat Adanya Muatan Berlebihan*. Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil Torsi. Surabaya.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. *Kajian dan Pengawasan Uji Coba Skala Penuh Recycling lapisan Beraspal dengan Campuran Berasapal Panas..* Bandung.
- Rahman, H. 2010. *Evaluasi Model Modulus Bitumen Asbuton dan Model Modulus Campuran yang Mengandung Bitumen Asbuton*. Disertasi (tidak dipublikasikan). Program Doktor Teknik Sipil. Institut Teknologi Bandung. Bandung
- Shell, Bitumen. 2003. *The Shell Bitumen Handbook*. English, UK.
- Sugeng, B.S., Rahman, H. dan Bethary, R.T. 2010. *Kinerja Fatigue dari Campuran Lapis Pengikat (AC-BC) yang Memakai Material Hasil Daur Ulang (Recycling) dan Polimer Neoprene*. Prosiding. Simposium XIII Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi. Semarang.
- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Granit. Jakarta.
- Tabakovic, A., Gibney, A., Gilchrist, M.D, McNally, C. 2010. *The Influence of Recycled Asphalt Pavement on 20 mm Binder Course Mix Performance*. University College. Dublin.